

VŠB - Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra automatizační techniky a řízení

Návrh realizace úloh pro systém Lego

Design And Implementation of Tasks for LEGO system

Vedoucí bakalářské práce : doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.

Student :

Jiří Bílek

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra automatizační techniky a řízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Bílek**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **3902R001 Aplikovaná informatika a řízení**
Specializace: **70 Aplikovaná informatika a řízení**
Téma: **Návrh a realizace úloh pro systém Lego
Design and Implementation of Tasks for LEGO System**

Zásady pro vypracování:

1. Popište stavebnici LEGO® MindStorms™ Robotic Inventions System™, její hlavní komponenty a možnosti využití.
2. Navrhněte a realizujte variantní řešení úloh realizovaných pomocí stavebnice LEGO® MindStorms™.
3. Sestavte sadu zadání pro samostatnou práci studentů s vytvořenými úlohami a vytvořte návody do cvičení.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte směry dalšího řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] CHLEBEK, M. *Soubor úloh pro výuku programového řízení*. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 2007. 100 stran. Diplomová práce, vedoucí: Farana, R.
- [2] LEGO MindStorms™ official home page [on-line]. Dostupný z www <URL: <http://mindstorms.lego.com>>
- [3] LEGO MindStorms™ Robotic Inventions System™ 2.0 Constructopedia. Návod k použití systému. Robova LEGO® stránka [on-line]. Dostupný z www <URL: <http://www.sweb.cz/seifrob/index.htm>>
- [4] TOBOLA, R. *Sbírka úloh pro řízení logickým automatem*. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 2004. 70 stran. Bakalářská práce, vedoucí: Farana, R.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

prof. RNDr. Lubomír Smutný, Dr.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě :

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis studenta

Anotace bakalářské práce

Bílek, J. *Návrh a realizace úloh pro systém LEGO : bakalářská práce.* Ostrava : Katedra automatizační techniky a řízení, Fakulta strojní VSB-Technická univerzita Ostrava, 2010, 48s. Vedoucí práce : Wagnerová, R.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací úloh pro systém LEGO – Mindstorms NXT. Práce se věnuje popisu stavebnice a komponentů, dále vytvořením dvou variantních úloh s kompletní programovou dokumentací a vytvořením sestavy zadání do cvičení. Obě variantní úlohy jsou popsány s podrobným vysvětlením jejich funkčnosti a v příloze jsou uvedeny postupy k jejich sestavení ze stavebnice. Sestava do cvičení obsahuje kromě zadání, také kompletní postup správného vytvoření programové části.

Annotation of master thesis

Bílek, J. *Design and Implementation of Tasks for LEGO System : Bachelor Thesis.* Ostrava : Department of Control System And Instrumentation, Faculty of Mechanical Engineering VSB-Technical university of Ostrava, 2010, 48p. Thesis head: Wagnerová, R.

This work deals with design and implementation of tasks for LEGO system – Mindstorms NXT. It attends especially to specification of LEGO kit and its components, below creating of two variant tasks with complete program documentation and creating of assignments for lessons. Both of these variant tasks are explained with whole description of their functionality and with coding explanation. The assignment for lessons contains whole description and entire code proceeding.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A ZNAČENÍ	7
1 ÚVOD.....	8
2 STAVEBNICE LEGO MINDSTORMS™ ROBOTIC INVENTIONS SYSTEM.....	9
2.1 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ	9
2.2 NXT ŘÍDICÍ JEDNOTKA	11
2.3 VYBAVENÍ SESTAVY	13
3 NÁVRH MODELŮ.....	16
3.1 MODEL „HLEDAČ“	16
3.1.1 Programová část modelu „Hledač“	19
3.1.2 Postup vytvoření programu	20
3.2 ROZDĚLOVAČ	24
3.2.1 Programová část modelu „Rozdělovač“	26
3.2.2 Postup vytvoření programu	27
4 ÚLOHY PRO PŘEDMĚT ZÁKLADY AUTOMATIZACE	32
4.1 ÚLOHA 1	32
Řešení:.....	33
4.2 ÚLOHA 2	35
Řešení :.....	36
4.3 ÚLOHA 3	38
Řešení:.....	39
4.4 ÚLOHA 4	41
Řešení:.....	42
ZÁVĚR.....	44
SEZNAM POUŽITÉ LITARATURY.....	45
PŘÍLOHY.....	46
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	46

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A ZNAČENÍ

NXT	Programovací kostka
PC	Personal Computer – Osobní počítač
USB	Universal Serial Bus
Port	Rozhraní pro komunikaci s PC
EOPD	Electro Optical Proximity Detector
mAh	Micro ampeur hours
LED	Light Emitting diode – světlo vyzařující dioda

1 ÚVOD

V současné době je trendem mnoha společností co nejefektivněji zjednodušit, urychlit a hlavně co nejprecizněji vytvořit nabízené výrobky všeho druhu. K těmto a mnoha jiným účelům slouží jak už plně automatizované, tak polo-automatizované stroje, které přináší efektivnější a levnější varianty výroby. Díky pochopení principu a komplexnosti těchto zařízení, máme možnost vyzkoušet si a vytvářet základy těchto mechanismů i sami doma.

Velmi účelným příkladem k tomuto slouží stavebnice LEGO Mindstorms NXT, která je vyrobena přímo za účelem osvojení si těchto metod v praxi. Rozmanitou škálou svých komponentů tato stavebnice umožňuje vytvářet celé variace úkonů, se kterými se setkáváme v běžném životě.

V této práci se budu zabývat možnostmi, které nám tato stavebnice nabízí, a podrobně popíšu dvě konkrétní úlohy, které jsem na této stavebnici realizoval. V první úloze popisuji robota, který je naprogramován na hledání cesty jedné barvy. Jeho kolem je najít trasu vyznačenou na povrchu, kde se pohybuje a sledovat ji. Druhý robot je řidič barevných míčků. Sám si z podavače vpustí míček různé barvy, tuto analyzuje v jímači míčků a otočením ramene o patřičný úhel umístí do zásobníku pro míčky jedné barvy.

V rámci této bakalářské práce se pokusím vytvořit sadu zadání pro studenty do hodin. Všechny tyto úlohy budou demonstrovat základní vlastnosti, které stavebnice Lego Mindstorms nabízí a zábavnou formou se jím pokusím přiblížit okrajově problematiku automatického řízení v praktické části jejich výuky.

2 STAVEBNICE LEGO MINDSTORMSTM

ROBOTIC INVENTIONS SYSTEM

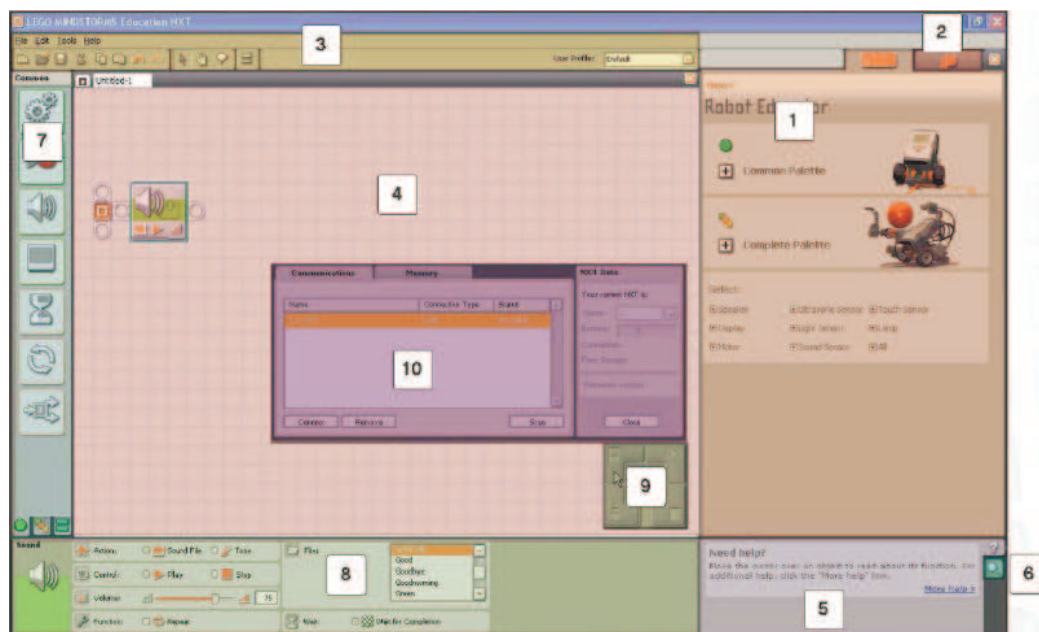
LEGO Mindstorms NXT umožňuje sestavovat, skládat a programovat poloautomatické roboty z dílů stavebnice. Jedná se o inovaci původní Robotics Invention System, kterou nahrazuje v celé škále individuálních možností svých nových komponentů.

2.1 Programové vybavení

Software navržený pro LEGO Mindstorms NXT, je vyvinut za spolupráce LEGO Education a National instrument pro co nejjednodušší a nejefektivnější využití v praxi. Důkazem toho jsou aktivní prvky programu, založené na typu aplikace „Táhni a polož“, neboli „Drag and drop“. Díky intuitivnímu grafickému prostředí a dostatečné přehlednosti, je software vhodný jak pro začínající, tak i velmi pokročilé uživatele aplikace. V celku se jedná o optimalizovanou verzi profesionálního programu NI LabVIEW, který slouží k navržení, řízení a testování produktů a systémů pro mobilní telefony, mp3 přehrávače a různé automatizované zařízení na celém světě.

Komplexně se jedná o velmi příjemné prostředí, které si v rámci jednoduchosti a efektivity získá celou řadu oblíbenců. Stavebnice je určena od 8 let a z toho důvodů je vše voleno velmi nenáročným a příjemným způsobem. Palety v programu jsou velmi přehledným způsobem uspořádány, patřičná velikost ikon a barevně volený profil je více než povedený.

Velmi výjimečným způsobem se chová i vkládání logických podmínek programu. Předpoklad výrobce v tom, že stavebnici mohou používat i nejmenší je znát právě ve struktuře tvorby programů. Není zapotřebí psát zdlouhavé a nepřehledné podmínky. Jednoduše uchopíte blok a vložíte dvoucestnou podmínku, která když nebude splněna, v druhé cestě (větvi) se vloží další. (Obrázek 1)



Obrázek 1 – Prostředí programu LEGO

Rozdělení palet

1. Robot Educator (Robotický učitel) – Jedná se o stavební a programovou oblast instrukcí Robotnického modelu. Jsou zde nastavení veškerých přídatných senzorů a jejich aplikační vlastnosti a nastavení.
2. My Portal (Můj portál) – Jde o záložku Robotnického učitele, kde má každý uživatel možnost vstoupit na webový portál firmy LEGO pro přídatné softwarové komponenty a informace.
3. The tool bar (Nástrojová lišta) – Standardní nástrojová lišta používaná snad ve všech aplikačních software. Tzv. „easy to reach“ oblast vlastností k např. uložení aplikace, help, nástrojů, atd..
4. The work area (Pracovní prostor) – Hlavní oblast aplikace k vytváření programu za pomoci bloků, které jsou do ní vkládány.
5. Little help window (Pomoc) – Zde se můžeme v případě nesnází obrátit na pomoc programu ve formě rejstříku.
6. The work area map (Mapa pracovního prostoru) – Slouží pro rychlý přesun v pracovním prostředí.

7. The programming palette (Programovací lišta) – Lišta programových bloků, které vytváří samotný program robota. Jednoduchým uchopením a přenesením bloků do pracovního prostoru vytváříme základní programové rozhraní pro našeho robota.
8. The configuration panel (Konfigurační panel) – Každý z bloků má svůj konfigurační panel pro nastavení instrukcí a vlastností bloku.
9. The Controller (Ovladač) – Umožňuje nahrávání naprogramovaného programu do NXT řídicí jednotky.

Instalace

K základnímu hardwarovému vybavení stavebnice obdržíme také software společnosti na CD. Jedná se o software navržený pro operační systému Windows a Apple Macintosh.

-Pro verzi Windows systému, je software plně kompatibilní s verzí XP Professional a XP Home a vyšší.

-V prostředí Apple Macintosh je doporučeno mít nainstalovanou verzi Apple Mac OS X 10.3.9 nebo 10.4.

2.2 NXT řídicí jednotka

Základ celé stavebnice tvoří multimediální NXT řídicí jednotka, která ve své základní výbavě umožňuje uživateli audio-vizuální přehled nad funkčností a správností vloženého programu. (Obrázek 2)



Obrázek 2 – NXT řídicí jednotka [Lego, 2010]

NXT řídicí jednotka umožňuje uživateli připojení k PC pomocí USB kabelu nebo bezdrátového Bluetooth připojení, které je také součástí vybavení. NXT jednotka je napájena za pomoci adaptéru s 10V výstupem. V případě nedostupnosti zapojení do sítě, je NXT modul vybaven 6xAA sloty pro tužkové baterie a je také v součásti balení lithiová obnovitelná baterie.

Řídicí jednotka je vybavena ve své spodní části čtyřmi vstupními porty pro senzory. Horní část je vybavena třemi výstupními porty s jedním USB portem. Multi-řádkový (60pix x 100pix), dvoubarevný displej svou velikostí a rozložením aktivní obrazovky zcela postačuje k přehlednosti akčních prvků.

- **My Files:** Správce souborů uložených v paměti, odtud se spouštějí a mažou programy, nebo zvuky atd.
- **NXT Program:** Slouží k vytváření jednoduchých programů přímo na NXT bez použití PC. Maximální velikost je pět příkazů, z toho poslední je vždy STOP nebo LOOP (smyčka - předchozí příkazy se budou stále opakovat)
- **View:** Zobrazení hodnot senzorů na displeji.
- **Bluetooth:** Komunikace pomocí bezdrátového rozhraní

- **Settings:** Nastavení hlasitosti, doby po které se NXT automaticky vypne, pokud je nečinný a možnost smazání všech souborů v paměti.
- **Try Me:** Umožňuje vyzkoušet různé části vytvořeného programu, pro ověření správné funkčnosti.

Technické specifikace NXT jednotky

Původní balení obsahuje adaptér, který je dosazen přídatnými redukcemi a umožní připojení kdekoliv na světě. Základní specifikace NXT jsou zároveň limitními parametry, které do jisté míry reprezentují maximální využití.

- 32-bit ARM7 mikroprocesor
- 256 Kbytes FLASH, 64 Kbytes RAM (paměť)
- 8-bit sběrnice mikroprocesoru
- Bluetooth verze II – bezdrátová komunikace
- USB 2.0 port pro připojení k PC
- 4 vstupní porty, šesti pinový konektor
- 3 výstupní porty, šesti pinový konektor
- Displej s rozlišením 60 x 100 pixel
- Duální zvukové zařízení
- Lithiová dobíjecí baterie s adaptérem, nebo 6xAA slot pro baterie

2.3 Vybavení sestavy

NXT jednotka je variabilní v mnoha směrech i pro připojení komponent. Mezi základní komponenty LEGO Mindstorms, je sada senzorů k prostorové orientaci předem navrženého modelu. Sensory umožňují měření fyzického a akustického tlaku, rozlišování barev, měření délky a podobně. Sestava také obsahuje konstrukční díly a připojovací kabely.

Hardwarové příslušenství sestavy

1. Tlakový senzor

Je schopen měřit vyvinutý tlak. Detekuje stlačení, uvolnění a kliknutí. Vzhledem k navrženému tvaru LEGO kříže, umožňuje vytváření vlastních tlačítek. (Obrázek 3)



Obrázek 3 – Tlakový senzor [eduxe, 2010]

2. Světelný senzor k rozlišování barev

Senzor rozlišující barvy. Kalibrace senzoru vychází z klasických LEGO® barev. Senzor, na základě odrazu světla tří barev z LED diod, určuje hodnotu barvy povrchu tělesa. Frekvence přepočtů barev je až 100 za sekundu. (Obrázek 4)



Obrázek 4 – Světelný senzor [eduxe, 2010]

3. Zvukový senzor

Senzor zvuku k záznamu akustického tlaku prostředí. Oblast zvuku je schopen zaznamenávat v rozmezí 0-100% ve frekvenčním rozsahu slyšitelnosti lidského ucha (dBA). (Obrázek 5)



Obrázek 5 – Zvukový senzor [eduxe, 2010]

4. Ultrazvukový senzor

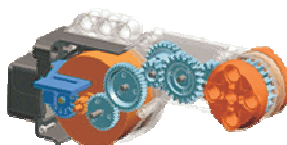
Vysílač a přijímač ultrazvukového signálu k zaznamenávání dálkových objektů. Rozsah záběru vzdálenosti objektů je měřen v cm/inch ve vzdálenosti 0-255 cm s přesností na 3 cm. Zaznamenává jakýkoliv pohyb v šířce rozsahu pásma. (Obrázek 6)



Obrázek 6 – Ultrazvukový senzor [eduxe, 2010]

5. Servomotor

Servomotor s vestavěným rotačním senzorem k řízení a měření natočení s přesností 1° je schopen řízení a měření počtu otáček. (Obrázek 7)



Obrázek 7 – Servomotor [eduxe, 2010]

6. Obnovitelná baterie

Lithiová baterie o kapacitě 1400 mAh s A/C konektorem k připojení síťového adaptéru. Nabíjecí adaptér je součástí základního vybavení. (Obrázek 8) Doba výdrže plně nabité baterie je 1,5 hodiny.



Obrázek 8 – Baterie [eduxe, 2010]

3 NÁVRH MODELŮ

Navrhl jsem dva modely robota. První z nich „Hledač“ bude mít za úkol najít a sledovat danou dráhu nakreslenou na podkladu, kde se bude robot pohybovat. Druhý robot „Rozdělovač“, bude mít za úkol rozdělit všechny míčky různých barev do prostoru tak, aby míčky stejné barvy byli pohromadě.

3.1 Model „Hledač“

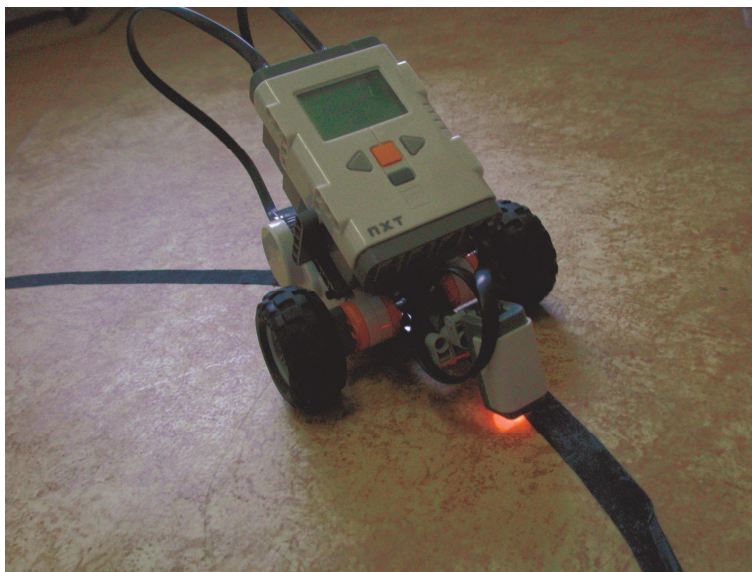
K sestavení tohoto modelu jsem využil dva servomotory, které budou sloužit jako pohon pro pohyb na dvou kolech. Důležitou funkcí robota bude orientace v prostoru. Robot bude vybaven dotykovým senzorem v přední části nad senzorem, který bude sloužit k běžné orientaci v prostoru. Pokud dojde ke stlačení senzoru, na tuto překážku zareaguje změnou své trajektorie natočením o určitý úhel. Po dobu pohybu bude ve spodní přední části robota světelný senzor, který bude rozlišovat barvu podkladu, na které se tento robot pohybuje.

Zóna pohybu

Podklad, po kterém se bude robot pohybovat, musí splňovat podmínky pro pohyb robota vzhledem k jeho proporcím a umístění světelného senzoru ke sledování barvy dráhy. Vzhledem k nízké citlivosti světelného senzoru je důležité, aby byl senzor v co nejbližší vzdálenosti od země cca 3-4 mm od povrchu země. Senzor je schopen detekovat 17 základních odstínů světlé barvy, které jsou standardizovány dle LEGO®, přičemž škála začíná bílou a končí černou barvou. Každá barva je navržena jako logická hodnota a zpracována. Z toho důvodu by měla být hledaná trasa jasně zřetelná vzhledem celkovému povrchu, na kterém se robot pohybuje.

Princip hledání trasy

Po zapnutí robota, se robot pohybuje přímým směrem. Bude se pohybovat tímto směrem do té doby, než narazí na dráhu v barvě, kterou jsme mu zadali (Obrázek 9), nebo narazí na překážku.

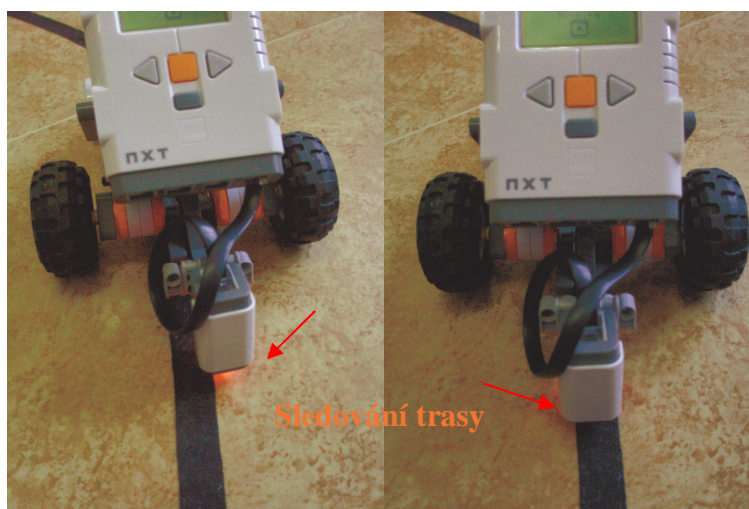


Obrázek 9 – Směr pohybu robota

V případě, že robot narazí na překážku, zacouvá a posune se o úhel 45° . Tímto způsobem se bude pohybovat (vyhýbat) do té doby, dokud nespatří námi zadanou barvu dráhy, kterou má sledovat.

Velmi důležitou podmínkou v zóně pohybu robota je samotná trasa, kterou má robot najít. Vzhledem k propozicím robota bude vhodné, aby se trasa nevyskytovala v úzkých uličkách. Další velmi důležitou vlastností je kroucení dráhy. Chceme-li, aby robot sledoval dráhu v určité rychlosti, je zapotřebí navrhnout dráhu tak, aby poloměr kruhové části dráhy nebyl příliš malý. V případě, že má robot sledovat kruhové zakřivení o malém poloměru, je zapotřebí snížit jeho rychlost sledování dráhy. Dráha se nesmí vyskytovat na povrchu, který je zakřiven a který by mohl zvětšit vzdálenost senzoru od země. Ve chvíli, kdy robot objeví barvu trasy, která mu byla přidělena zazní zvukový signál a robot začne sám sledovat trasu. Hledaná dráha by měla být 2 cm v průměru.

Princip hledání trasy, je založen na sledování okraje čáry trasy (Obrázek 10). V okamžiku, kdy robot dostane signál o hledané barvě, provede otočení doleva o 90° . Pokud senzor odešle signál se stejnou odraženou barvou, začne se pohybovat levým servomotorem s vyššími otáčkami, než servomotor pravý. Takto se pohybuje do té doby, dokud je signál stejný (robot je stále na trase).



Obrázek 10 – Princip sledování dráhy






V případě, že se signál senzoru změní (přejede trasu), začne se pohybovat invertně. Pravý servomotor bude ve vyšších otáčkách než levý a bude se tedy vracet zpět na dráhu. Jakmile se vrátí na dráhu, znovu se motory začnou pohybovat invertně. Tímto způsobem robot sleduje jednu stranu hledané trasy a drží se tedy trasy. V případě, že po otočení o 90° bude signál povrchu jiný než hledaný, otočí se doprava o 45° a tím se vrátí zpět na hledanou trasu a pokračuje cyklicky s již popsaným algoritmem hledání.

Jakmile dojde na konec trasy a ztratí barevnou stopu, začne vykonávat další hledání v oblasti 360° až do maximální vzdálenosti. Tento pokus o znovuobjevení trasy se bude opakovat v cyklech. Tímto způsobem třídění zaručíme plnou automatizaci v rámci naší úlohy.

3.1.1 Programová část modelu „Hledač“

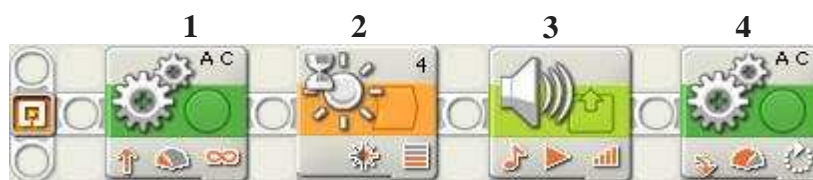
V tabulce jsou uvedeny všechny potřebné bloky k sestavení programu. Každý blok je zapotřebí nastavit dle potřebného výstupního portu, za pomoci kterého komunikuje NXT kostka se servomotory a senzory. (Tabulka 1)

Tabulka 1 – Bloky potřebné k vytvoření programu

	<p>Blok sloužící k pohybu (move). Definuje zapojení servomotorů v portech NXT. Rychlost otáček, úhel natočení, směr otáčení.</p>
	<p>Blok k nastavení čekání (wait) na konkrétní senzor. Nastavuje port připojeného senzoru, logickou podmínku IF a také senzor, který má být sledován.</p>
	<p>Zvukové upozornění (sound). Definuje hlasitost, tóny, zvuky, možnosti opakování nahrávky a také dobu zvukového upozornění.</p>
	<p>Rozdělovač (switch), je základní logickou podmínkou OR. Nastavuje parametry podmínky na sledovaný port a umožňuje zadávat další logické podmínky programu.</p>
	<p>Smyčka (loop). Nepřetržitě opakuje nadefinovanou podmínku. Umožňuje nastavení doby opakování cyklu a také lze navázat na konkrétní senzor.</p>

3.1.2 Postup vytvoření programu

Všechny bloky potřebné k vytvoření robota a jeho chování se nachází v základní liště programu. Prvním krokem robota po zapnutí je přímá cesta. Na obrázku (Obrázek 11) lze vidět bloky chování robota po zapnutí a hledání cesty.



Obrázek 11 – Sekvence bloků pro pohyb hledání

V tabulce (Tabulka 2) zase vysvětleno nastavení bloků. Bod číslo 4 je zpětná rotace o 60 stupňů doprava před první podmínkou.

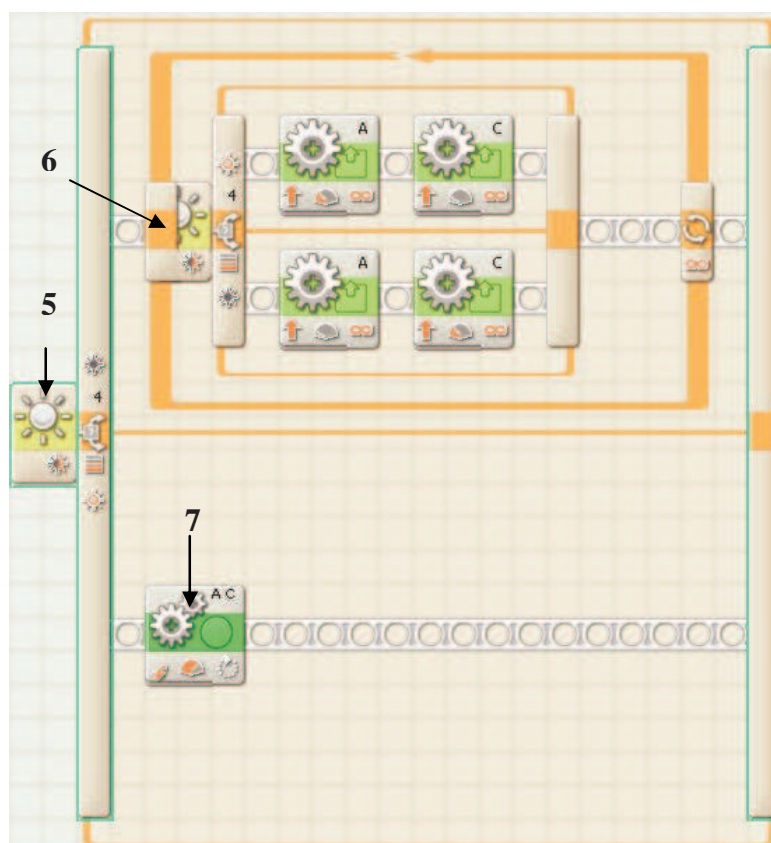
Tabulka 2 – Nastavení bloků v programu

1	
2	
3	



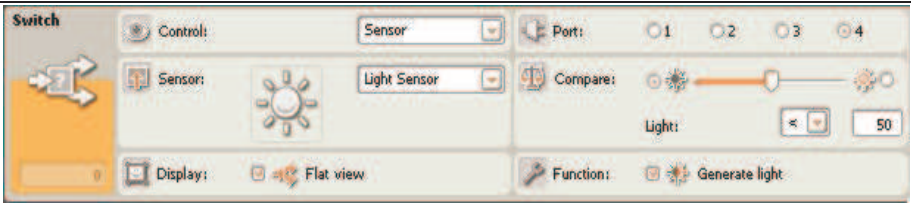


Rozdělovač

Rozdělovač (5) vkládá první logickou podmínku. Pokud bude po otočení robot stále na cestě, začne s sledovacím cyklem ve smyčce (6) nebo otočí o příslušný úhel 60° (7). (Obrázek 12). Informace k nastavení bloků jsou v tabulce nastavení bloků (Tabulka 3)



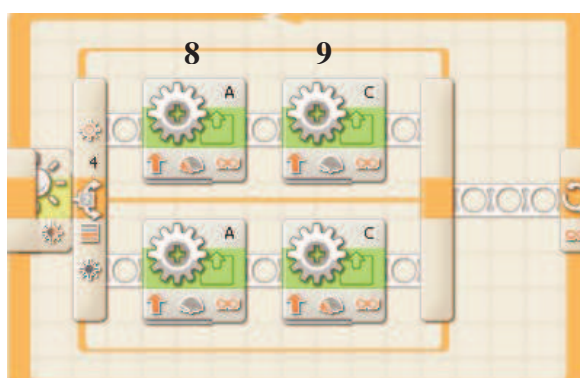
Obrázek 12 – Schéma rozdělovače

Tabulka 3 – Nastavení bloků v rozdělovači

5	
6	
7	



Hledací smyčka

Poslední podmínka, která zajišťuje po otočení o 60° sledování trajektorie trasy. V případě, že ztratí trasu, smyčka začne v tomto cyklu vyhledávat trasu. Smyčka je stejně nastavena jako v prvním rozdělovači. (Obrázek 13) Podrobné nastavení bloků je v tabulce. (Tabulka 4)



Obrázek 13 – Cyklus sledovací smyčky

Tabulka 4 – Nastavení motoru sledovací smyčky

8	
9	

Výsledná podoba programu

Celý program je navržen tak, aby hledací smyčka robota po spuštění byla nezávazná na cyklické funkci Loop. V případě, že robot po spuštění narazí na trasu, přechází do druhé sledovací úrovně dle podmínky jak je vidět na obrázku. (Obrázek 14)



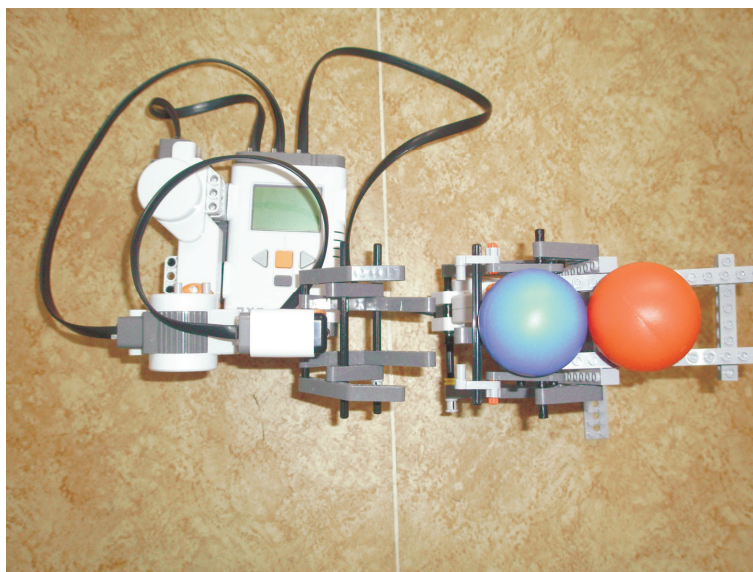
Obrázek 14 – Finální verze programu v prostředí Lego Mindstorms

3.2 Rozdělovač

Model rozdělovač bude sestaven ze dvou servomotorů, které budou dle sestavení modelu hýbat s ramenem, na kterém budou míčky různé barvy (Obrázek 15). Hlava ramene má ukotvený snímač barev před úchytkou tříděného míčku. Barva míčku v žlábků bude zachycena snímačem a ten dle barvy ramenem dopraví míček do příslušného zásobníku.

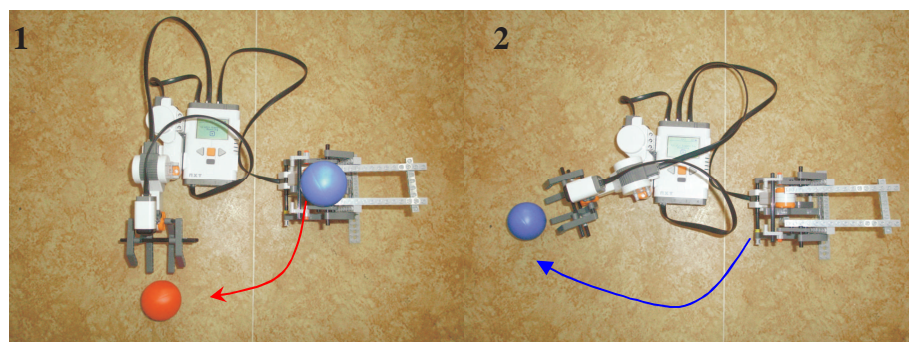
Princip třídění

Míčky jsou poskládány v podavači nad úchytkou a odděleny přepážkou. V případě, že je míček v poloze před snímačem, je analyzována barva míčku. Po rozpoznání barvy robot pojmenuje analyzovanou barvu a umístí ji do příslušné mísy



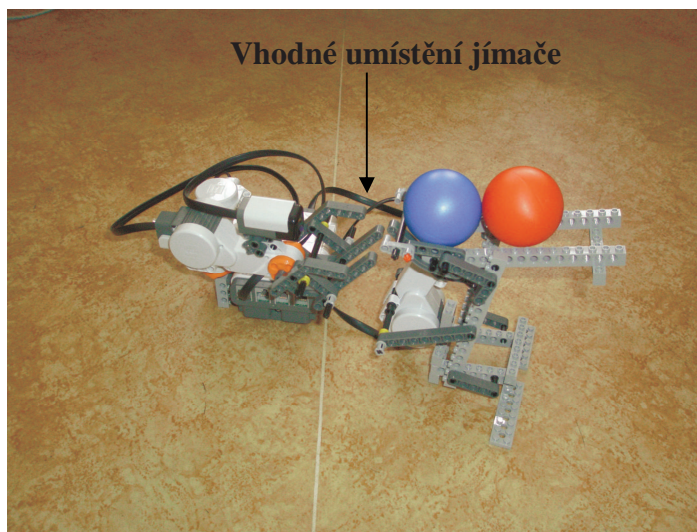
Obrázek 15 – Princip třídění míčků

Barevný snímač poté rozliší barvu, robot otočí paži s jímačem dle barvy o příslušný úhel a vyklopí balonek do zásobníku. Vráť se nazpět do počáteční polohy a třetí servomotor uvolní úchytku. Ta uvolní další míček, který spadne do úchytky. Tento úkol se opakuje do té doby, dokud všechny balónky s barvami nejsou roztříděny (Obrázek 16).



Obrázek 16 – Rozdělení míčků do zásobníků dle barvy

Konstrukce tohoto modelu je vhodná pro další úpravy a samotný algoritmus třídění lze variabilně definovat pro potřeby uživatele. Velmi důležitým aspektem správné funkčnosti tohoto modelu je vhodné umístění senzoru. Senzor je citlivý pro škálu 18 barev standardizovaných společností LEGO® a je citlivý také na odstíny různých barev. Proto je zapotřebí vhodné osvětlení modelu, k čemuž nejostřejšímu sledování barev senzorem.



Obrázek 17 – Poloha jícmače vůči senzoru

Další důležitou podmínkou je vhodné nastavení úhlu rotace nosné paže a umístění

zásobníků. Míčky, resp. tříděný materiál by měl mít vhodně volené kontrastní barvy (Obrázek 17). Všechny tyto podmínky jsou závislé na prostředí a potřebách uživatele. Dají se v závislosti na potřebách měnit a upravovat.

3.2.1 Programová část modelu „Rozdělovač“

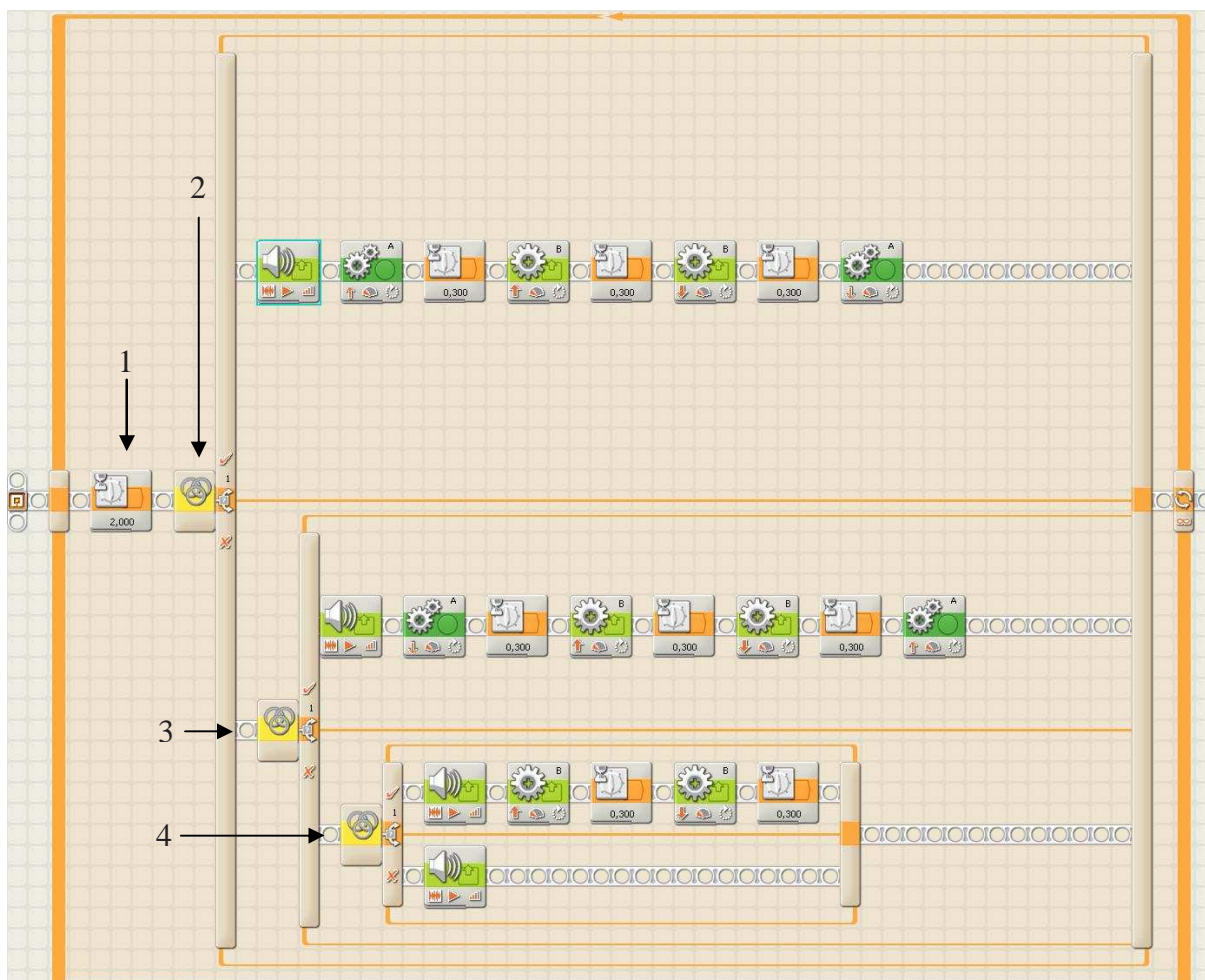
V tabulce jsou uvedeny všechny potřebné bloky k sestavení programu. Každý blok je zapotřebí nastavit dle potřebného výstupního portu, za pomoci kterého komunikuje NXT řídící jednotka se servomotory a senzory.

Tabulka 5 – Bloky potřebné k vytvoření programu

	Blok sloužící k pohybu (move). Definuje zapojení servomotorů v portech NXT. Rychlost otáček, úhel natočení, směr otáčení.
	Blok k nastavení čekání (wait) na konkrétní senzor. Nastavuje port připojeného senzoru, logickou podmínku IF a také senzor, který má být sledován.
	Zvukové upozornění (sound). Definuje hlasitost, tóny, zvuky, možnosti opakování nahrávky a také dobu zvukového upozornění.
	Rozdělovač (switch), je základní logickou podmínkou OR. Nastavuje parametry podmínky na sledovaný port a umožňuje zadávat další logické podmínky programu.
	Smyčka (loop). Nepřetržitě opakuje nadefinovanou podmínku. Umožňuje nastavení doby opakování cyklu a také lze navázat na konkrétní senzor.

3.2.2 Postup vytvoření programu

K pochopení celého programu, je vhodnější rozdělit program do tří základních bodů. Protože všechny logické podmínky tvoří rozdělovače světelného senzoru, budeme postupovat od vnější podmínky prvního rozdělovače k vnitřním podmínkám jak je vidět na obrázku (Obrázek 18).



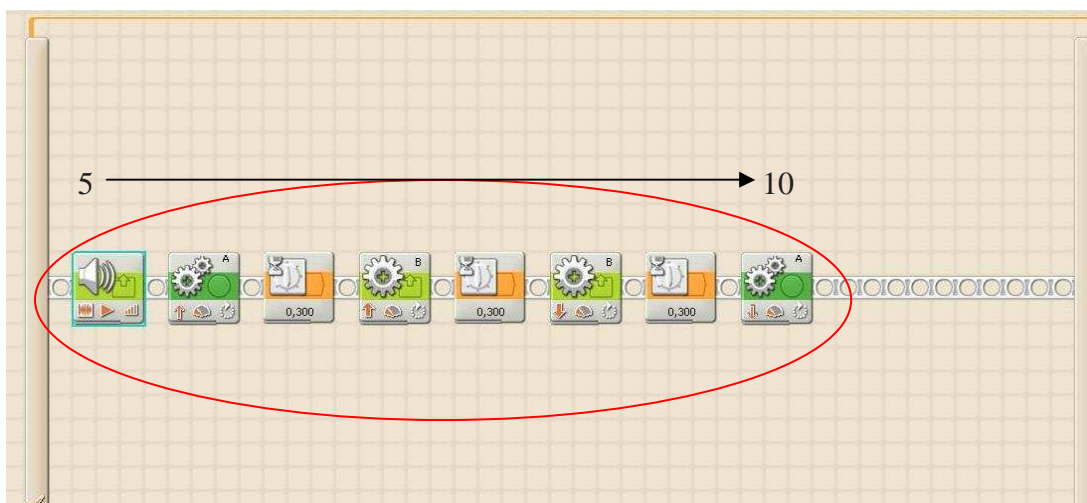
Obrázek 18 – Program rozdělovač

Všechny switche a bloky v nich jsou umístěny ve smyčce (Loop), aby se akce hledání mohl neustále opakovat a robot tedy třídil do té doby, dokud bude mít materiál k třídění. Funkce wait je nastavena na dvou sekundové zastavení procesu. Za tyto 2 sekundy dojde k vpadnutí míčku do jímače. Každý swith je nastaven na barevný senzor tak, že pro každý je zvolena barevná škála, která definuje hledanou barvu a port, na kterém se vyskytuje barevný snímač, jak je vidět v tabulce. (Tabulka 6)

Tabulka 6 Nastavení parametrů

1	
2	
3	
4	

První switch je nastaven pro hledání žluté barvy. V případě, že se opravdu jedná o tuto barvu, zazní hledaná barva, rameno se s míčkem otočí o patřičný úhel a vyčká 0,3 sekundy. Motor B vyprázdní jímač, opět počká a vrátí se zpět. (Obrázek 19)



Obrázek 19 – Nastavení switche hledajícího žlutou barvu

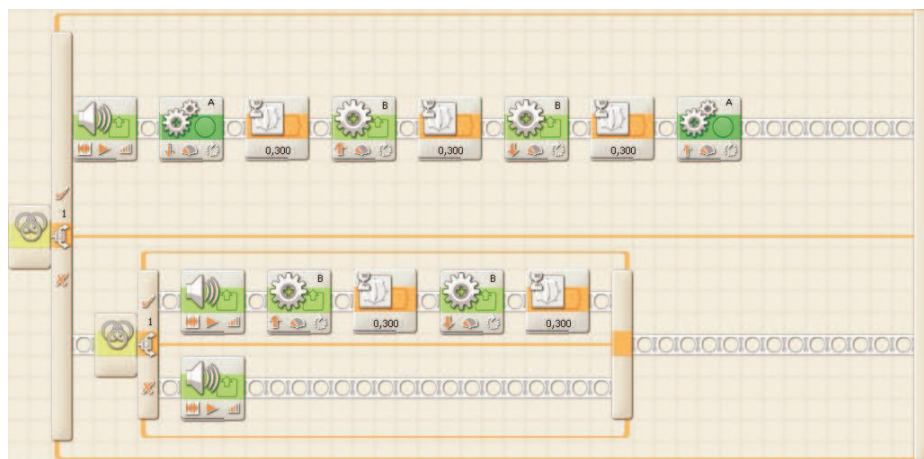
Každý blok je nastaven přesně tak, aby se rameno s jímačem pohnulo o určitý úhel k zásobníku dané barvy. Časové 0,3 sekundové prodlevy jsou z toho důvodu, aby materiál nevypadl. Všechna nastavení bloků jsou v tabulce (Tabulka 7).

Tabulka 7 – Nastavení bloků switche

5	Sound  Action: <input type="radio"/> Sound File <input type="radio"/> Tone Control: <input type="radio"/> Play <input type="radio"/> Stop Volume:  75 Function: <input type="checkbox"/> Repeat Wait: <input checked="" type="checkbox"/> Wait for Completion File: <input type="text" value="Yellow"/> Yes You're Good
6	Move Port: <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C Power:  30 Direction: <input type="radio"/> Up <input type="radio"/> Down <input type="radio"/> Left <input type="radio"/> Right Duration: <input type="text" value="90"/> Degrees Steering: <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C Next Action: <input type="radio"/> Brake <input type="radio"/> Coast
7	Wait Control: <input type="text" value="Time"/> Until: <input type="text" value="Seconds: 0,3"/>



Druhý switch je zadán podmínkou hledání modré barvy. V případě, že podmínka není splněna, přehází na třetí switch, který má poslední podmínku a to žluté barvy (Obrázek 20). V případě, že předmět, který sleduje senzor, nemá ani jednu z těchto třídných barev, zahlásí Error.



Obrázek 20 – Vnitřní nastavení pohybu ramene

V případě posledních dvou switchů je nastavení téměř totožné. Jedinou výjimkou je pohyb ramene A opačným směrem, ale o stejný úhel. Poslední switch, hledající barvu červenou má zásobník ihned pod sebou, takže neobsahuje blok motoru A. Všechny bloky motoru B (jímače) jsou nastaveny stejně.

4 ÚLOHY PRO PŘEDMĚT ZÁKLADY AUTOMATIZACE

Sada zadání bude obsahovat čtyři základní úlohy využití stavebnice Lego Mindstorms. Tyto úlohy jsou navrženy tak, aby se studenti seznámili v praxi nejen s praktickým sestavováním komponentů Lega, ale zároveň si vyzkouší základní programové postupy. Všechny úlohy budou demonstrovat vlastnosti základních senzorů a jejich využití v praxi. Všechny úlohy jsou realizované na konstrukci robota „Hledače“.

4.1 Úloha 1






Tato úloha slouží k seznámení se s radarovým senzorem. Ten umožňuje sledovat pohyb předmětu, určovat jeho vzdálenost a tedy reagovat v rámci pohybu robota na předměty v jeho zorném poli. Cílem této úlohy je vytvořit robota, který bude schopen reagovat na pohyb a pohybovat se.

Radarový senzor

- Sestavte v programu Lego Mindstorms® z předem nadefinovaných bloků program pro detekci ultra-senzorickým senzorem.
- Importujte Vámi navržený program do NXT brick .
- Ověřte funkčnost Vámi navrženého programu

V této úloze využijeme základních logických funkcí programu Lego Mindstorms®

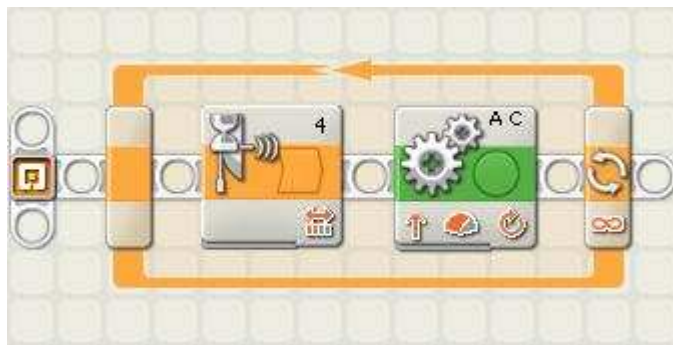
Tabulka 8 – Seznam použitých bloků v programu

Loop		Cyklická funkce. Vkládají se do ní bloky senzorů a pohybu jejichž úkony se opakují neustále dokola.
Switch		Blok který umožňuje definovat podmínky senzorů a pohybu a nabízí také jejich výběr pro nastavení.
Wait		Funkce, která nepřetržitě kontroluje dosažení nastavených podmínek senzorů. V případě jejich dosažení, vykoná další nastavený cyklus příkazů.
Move		Umožňuje pohyb v prostoru. Nastavuje časový, dálkový a rotační pohyb.
Radar		Sleduje pohyb v rozsahu svého pole, vzdálenost předmětu.

Sestavte program který využije radarového senzoru. Robot se má začít pohybovat po zamávání v určité vzdálenosti a následně se zastavit. V této poloze má zareagovat na další zamávání v jiné vzdálenosti podle níž se otočí doprava nebo doleva a poté pojede přímo 4 sekundy. Senzor radaru nastavte na port č.4. Blok pro pohyb definujte pro správné porty servomotorů.

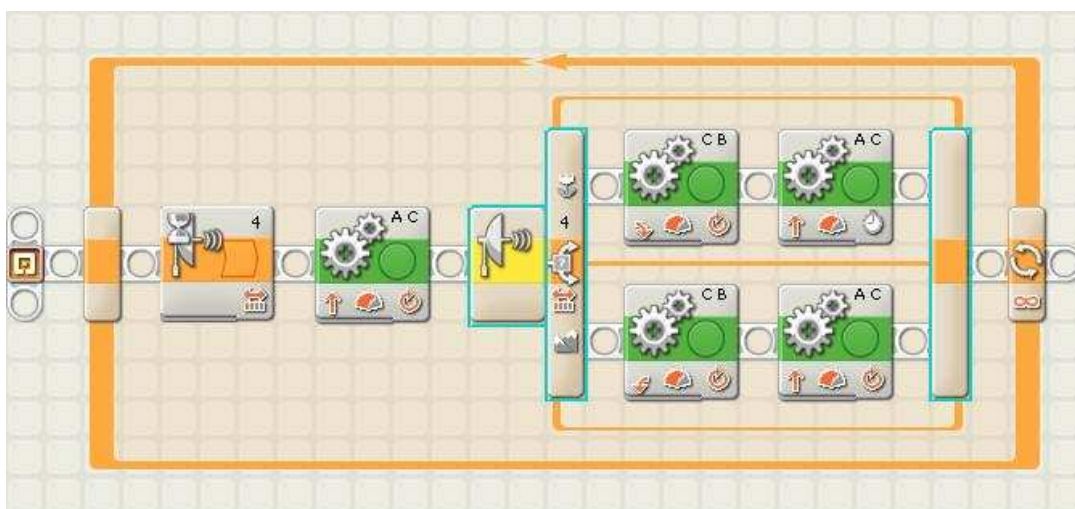
Řešení:

Do pracovního prostředí vložíme cyklickou funkci Loop, do které přetáhneme blok Wait (pro radarový senzor). Ten nastavíme na správný port č. 4 a vzdálenost na jednotku cm. Nastavíme 50cm a do loopu vložíme za funkci Wait blok Move, který nastavíme na správný port, ke kterému jsou zapojeny motory a určíme vzdálenost, nebo dobu a směr jakým chceme, aby se robot pohyboval. (Obrázek 21)



Obrázek 21 – Bloky pro detekci předmětu a pohyb

Nyní využijeme funkce Switch (radarového senzoru). Vložíme blok do funkce Loop a vytvoříme podmínku podle nastavených parametrů. Do Switche nastavíme náš senzor a určíme vzdálenost. Pokud robot zaznamená pohyb ve větší vzdálenosti, otočí se doprava a pojede rovně. Pokud z menší vzdálenosti, otočí opačným směrem a pojede rovně.



Obrázek 22 – Kompletní program úlohy 1

Hotový program (Obrázek 22) stáhneme funkčním tlačítkem pracovní plochy do připojeného a zapnutého NXT. Po dokončení stahování se program nachází v adresáři:

„My files“ -> „Software files“ -> „název našeho programu“

4.2 Úloha 2

Tato úloha slouží k seznámení se s barevným senzorem. Ten umožňuje rozlišovat barevnou škálu 18-ti barev (bílá – černá). Je zapotřebí tento senzor zapojit 6-ti cestním kabelem do portu č.2. V této úloze vytvoříme robota, který bude schopen rozlišit barvy a jmenovat je.

Barevný senzor

- Sestavte v programu Lego Mindstorms® z předem nadefinovaných bloků program pro detekci barevným senzorem.
- Importujte Vámi navržený program do NXT brick .
- Ověřte funkčnost Vámi navrženého programu

V této úloze využijeme základních logických funkcí programu Lego Mindstorms® (Tabulka 9)

Tabulka 9 – Seznam použitých bloků

Loop		Cyklická funkce. Vkládají se do ní bloky senzorů a pohybu jejichž úkony se opakují neustále dokola.
Switch		Blok který umožňuje definovat podmínky senzorů a pohybu a nabízí také jejich výběr pro nastavení.
Wait		Funkce, která nepřetržitě kontroluje dosažení nastavených podmínek senzorů. V případě jejich dosažení, vykoná další nastavený cyklus příkazů.
zvuk		Blok dává robotu schopnost vyjádřit se k právě vykonanému úkolu. Obsahuje celou škálu předem nadefinovaných slov.
senzor		Detekuje škálu 18 barev dle nastavení pro konkrétní sledovaný port připojeného senzoru.

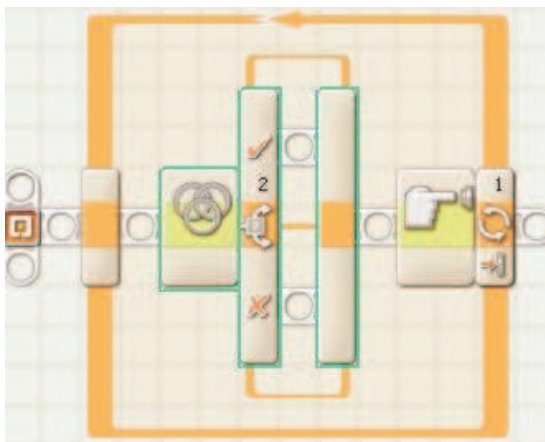
Vytvořte program pro detekci barvy tak, aby po zmáčknutí tlačítka a předložení zelené či červené barvy před senzor robot rozpoznal, o jakou barvu se jedná a zahlásil ji. V případě, že robot nerozpozná ani jednu z těchto barev, zazní tón „Whoops“

Pozn. :

Využijte funkce Loop, do které vložíte Switche pro barevný senzor. Loop nastavte na zmáčknutí tlačítka připojeného na příslušný port.

Řešení :

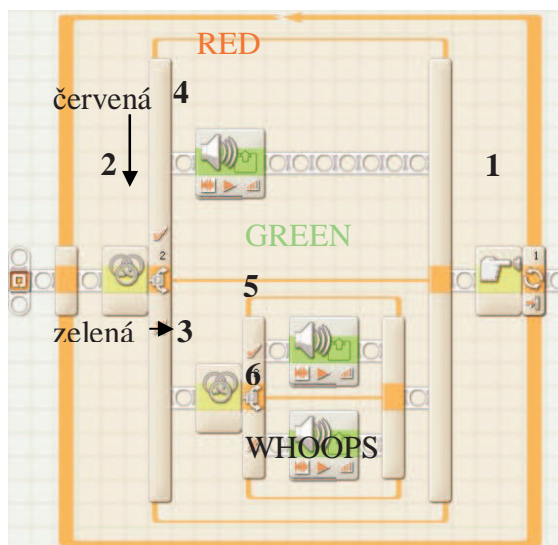
Vložíme funkci Loop, kterou nastavíme pro dotykový senzor na příslušný port, ve kterém je zapojen dotykový senzor. Do Loopu vložíme první switch a nastavíme jej pro Colour senzor. Nastavíme port připojeného senzoru a nastavíme barvu, kterou má sledovat. (Obrázek 23)



Obrázek 23 – Základ programu úlohy č.2

Pokud bude hledaná barva správná, tak do horní větve vložíme zvuk s příslušnou barvou. Pokud nebude tak do větve s křížkem vložíme další switch barevného senzoru a nastavíme na příslušnou barvu. Ten samý krok provedeme i zde jen pro zelenou hledanou barvu. Pokud barva nebude opět hledaná barva, do větve s křížkem vložíme

zvuk „Whoops“. (Obrázek 24)





Obrázek 24 – Kompletní program úlohy č.2

Nastavení bloků úlohy č.2 :

Nastavte všechny očíslované bloky podle obrázku 24. Dbejte na vhodné nastavení portů, které slouží ke komunikaci NXT řídicí jednotky s připojenými senzory a příslušenstvím. (Tabulka 10)

Tabulka 10 – Nastavení bloků úlohy č.2

1	
2	
3	

4	
5	
6	

4.3 Úloha 3





Tato úloha slouží k seznámení se s možností dotykového senzoru. Ten umožňuje reagovat na překážky v rámci jeho pohybu, ale také detekovat jakýkoliv předmět. V této úloze bude cílem využít dotykový senzor jako „ovládač“ k pohybu robota směrem doprava a doleva.

Dotykový senzor

- Sestavte v programu Lego Mindstorms® z předem nadefinovaných bloků program pro pohyb robota ovládaného dotykovým senzorem.
- Importujte Vámi navržený program do NXT brick .
- Ověřte funkčnost Vámi navrženého programu

V této úloze využijeme základních logických funkcí programu Lego Mindstorms® uvedených v tabulce č. 11.

Tabulka 11 – Seznam použitých bloků

Loop		Cyklická funkce. Vkládají se do ní bloky senzorů a pohybu jejichž úkony se opakují neustále dokola.
Switch		Blok který umožňuje definovat podmínky senzorů a pohybu a nabízí také jejich výběr pro nastavení.
Move		Umožňuje pohyb v prostoru. Nastavuje časový, dálkový a rotační pohyb.
Touch		Blok dotykového senzoru. Dle využití v programu může upozornit na překážku, spouštět či zastavovat činnost robota.

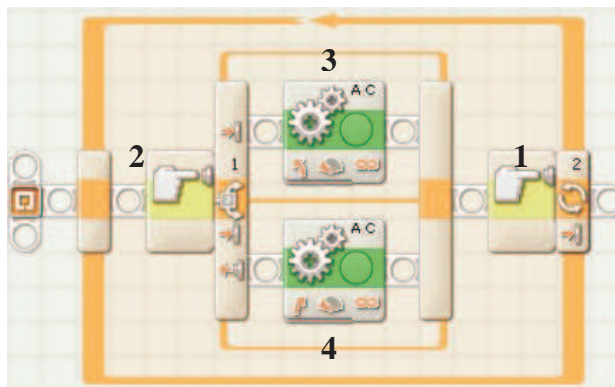
Vytvořte program pro pohyb robota tak, aby po zmačknutí dotykového senzoru 1 se robot začal pohybovat doprava a po uvolnění senzoru doleva.

Pozn. :

Využijte funkce Loop pro druhy dotykový senzor, který je připojen v portu 2. Ten bude startovat a ukončovat smyčku pohybu. Do Loopu vložte switch pro první dotykový senzor a nastavte pohyb dle zadání.

Řešení:

K řešení budou zapotřebí dva dotykové senzory připojené k portu 1 a 2. Do pracovního prostředí vložíme funkci Loop a nastavíme ji na dotykový senzor v portu 2. Tento senzor bude startovat (ukončovat) smyčku a umožní ovládat robota senzorem v portu 1. (Obrázek 25) Do Loopu vložíme blok Switch a nastavíme jej pro dotykový senzor na 1. portu. Pokud bude tlačítko zmačknuto (horní větev), vložíme blok pohybu a nastavíme vhodné porty připojených motorů společně se směrem.



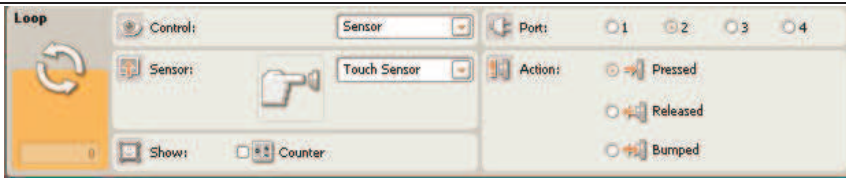
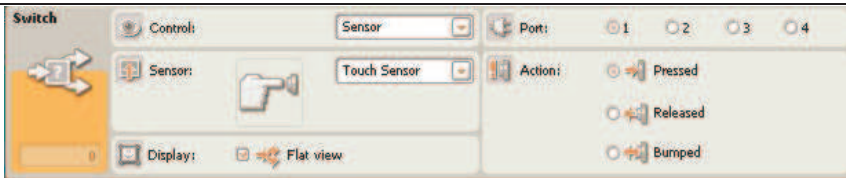


Obrázek 25 – Základ programu úlohy č.3

V případě uvolnění senzoru (spodní větev) vložíme blok pohybu, nastavíme jej na vhodné porty motoru a určíme směr pohybu. (Tabulka 12)

Nastavení bloků :

Nastavte všechny očíslované bloky podle obrázku 25. Dbejte na vhodné nastavení portů, které slouží ke komunikaci NXT řídicí jednotky s připojenými senzory a příslušenstvím.(Tabulka 12)

Tabulka 12 – Nastavení bloků úlohy č.3

1	
2	
3	
4	

4.4 Úloha 4






Tato úloha slouží k seznámení se s možností zvukového senzoru. Ten umožňuje robotovi detekovat zvuk v jeho okolí a reagovat na něj. Základem úlohy je nastavit robota tak, aby reagoval na zvukový podmět a začal se pohybovat.

Zvukový senzor

- Sestavte v programu Lego Mindstorms® z předem nadefinovaných bloků program pro pohyb robota ovládaného zvukovým senzorem.
- Importujte Vámi navržený program do NXT brick .
- Ověřte funkčnost Vámi navrženého programu

V této úloze využijeme základních logických funkcí programu Lego Mindstorms® uvedených v tabulce č. 13.

Tabulka 13 – Seznam použitých bloků v úloze č. 4

Loop		Cyklická funkce. Vkládají se do ní bloky senzorů a pohybu jejichž úkony se opakují neustále dokola.
Switch		Blok který umožňuje definovat podmínky senzorů a pohybu a nabízí také jejich výběr pro nastavení.
Move		Umožňuje pohyb v prostoru. Nastavuje časový, dálkový a rotační pohyb.
Touch		Blok dotykového senzoru. Dle využití v programu může upozornit na překážku, spouštět či zastavovat činnost robota.
Sound		Blok zvukového senzoru. Umožňuje nahrávat zvukové stopy, reagovat na zvukový signál v nastavitelném rozsahu.

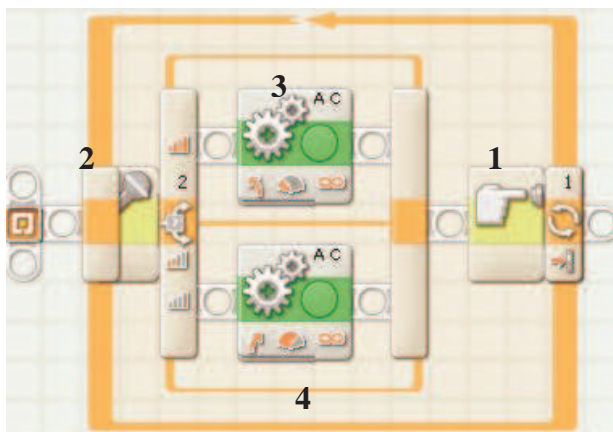
Vytvořte program pro pohyb robota tak, aby po zmačknutí dotykového senzoru 1, se robot začal pohybovat doprava a po uvolnění senzoru doleva.

Pozn. :

Využijte funkci „Loop“ a nastavte ji pro senzor dotyku, který bude připojen na portu 1. Do „Loop“ vložte „Switch“ a nastavte jej pro senzor zvuku, který je připojen na portu dvě a dle podmínek nastavte pohyb.

Řešení:

Blok „Loop“ vložíme do pracovního pole a nastavíme jej pro dotykový senzor, který je připojen k portu 1. Ten nám bude zapínat (vypínat) program. Do „Loop“ vložíme blok „Switch“ a nastavíme jej pro „Sound sensor“. Nastavíme hladinu hlasitosti a podmínku. Pokud bude zvuk hlasitější než nastavená hladina hlasitosti, bude se pohybovat doleva (horní větev). Pokud bude hladina hlasitosti menší, bude se pohybovat doprava. (Obrázek 26)



Obrázek 26 – Kompletní program úlohy č.4

Nastavení bloků :

Nastavte všechny očíslované bloky podle obrázku 26. Dbejte na vhodné nastavení portů, které slouží ke komunikaci NXT řídicí jednotky s připojenými senzory a příslušenstvím.(Tabulka 14)

Tabulka 14 – Nastavení bloků úlohy č.4

1	
2	
3	
4	

ZÁVĚR

Ihned po získání stavebnice Lego Mindstorms Education jsem se seznámil s jejími hlavními komponenty a dodávaným softwarem. Všechny komponenty jsem si vyzkoušel připojením k PC a otestoval jejich vlastnosti a přednosti. Toto mi umožnilo se blíže seznámit se softwarem společnosti LEGO.

Dalším krokem bylo seznámit se s doposud vytvořenými projekty na této stavebnici. Čerpal jsem jak ze zdroje Univerzitní databáze bakalářských a diplomových prací, tak ze zdrojů internetu, které nabízejí kompletní přehled vlastností jednotlivých komponent v praxi. Všechny tyto úlohy jsou však pouze demonstrativní a jen velmi zřídka se vyskytují společně s programem úlohy ke stažení.

Díky poznatkům, které prohloubily mou znalost základních principů a funkčnosti senzorů jsem zvolil světelný senzor a senzor citlivý na barvy k návrhu dvou variantních úloh, jejichž princip jsem také popsal. Díky intuitivnímu a přehlednému programování bloků jsem sestavil a navrhl logickou strukturu chování robota v obou variantních úlohách, které jsem poté realizoval.

Všechny mnou navržené úlohy z kapitoly 3 jsem vyzkoušel a nechal jsem ověřit, zda-li opravdu i lidé, kteří neměli s touto stavebnicí a jejími komponenty zkušenosti, byli schopni dle zadání postavit program chování robota. Věřím, že v rámci těchto úloh budou schopni studenti porozumět základům nejen této stavebnice, ale také principu automatizace v praxi a to zábavnou formou.

V rámci této bakalářské práce jsem se pokusil zřetelně popsat a vysvětlit celou škálu funkcí, které stavebnice Lego Mindstorms nabízí. Bez ohledu na některé komplikace spojené s vytvářením programů věřím, že svým úsilím jsem docílil kvalitní práce, která bude v budoucnu alespoň částečnou motivací studentům příštích ročníků pro realizaci řady dalších nových úloh.

SEZNAM POUŽITÉ LITARATURY

HITECH, *Lego certified robotic sensors*, aktualizace 1. 9. 2009, [online],[cit. 2010-2-2] dostupné z URL, <<http://www.hitechnic.com>>

LEGO, *Lego The Official Web Site*, aktualizace 1.12010, [online],[cit. 2010-3-2] dostupné z URL < <http://www.lego.com/en-US/default.aspx>>

NXTPROGRAMS, *Fun Projects for your lego*, aktualizace 2010, [online],[cit. 2010-4-3] dostupné z URL < <http://www.nxtprograms.com/index.html>>

MINDSTORMS, *Robotic Ideas And Instruction*, aktualizace 2010, [online],[cit. 2009-11-2] dostupné z URL < <http://www.laurensvalk.com/home>>

NXT-TUTORIAL, *Tutorial for NXT systems*, aktualizace 2007, [online],[cit. 2009-9-10] dostupné z URL < http://www.ortop.org/NXT_Tutorial/index.html>

EDUXE, *Katalog LEGO Education*, aktualizace 2009, [online],[cit. 2009-9-10] dostupné z URL < <http://www.eduxe.cz/>>

CHLEBEK, M. *Soubor úloh pro výuku programového řízení*. Ostrava: katedra automatizační techniky a řízení, VŠB-TU Ostrava, 2007. 100 stran. Diplomová práce, vedoucí: Farana, R., konzultant: Wagnerová, R.

LEGO MINDSTORMS, *Mindstorms home*, aktualizace 2010, [online],[cit. 2010-8-4] dostupné z URL < <http://mindstorms.lego.com/en-us/default.aspx>>

NXT CENTRAL, *Lego Mindstorms NXT central*, aktualizace 2009, [online],[cit. 2010-8-5] dostupné z URL < <http://www.nxtcentral.com/>>

NXTASY, *Building And Lego Mindstorms comunity*, aktualizace 2010, [online],[cit. 2010-5-7] dostupné z URL < <http://www.nxtasy.org/>>

PŘÍLOHY

Příloha A.....	Postup sestavení modelu „Hledač
Příloha B.....	Postup sestavení modelu „Rozdělovač

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1 – PROSTŘEDÍ PROGRAMU LEGO	10
OBRÁZEK 2 – NXT ŘÍDICÍ JEDNOTKA [LEGO, 2010].....	12
OBRÁZEK 3 – TLAKOVÝ SENZOR [EDUXE, 2010].....	14
OBRÁZEK 4 – SVĚTELNÝ SENZOR [EDUXE, 2010].....	14
OBRÁZEK 5 – ZVUKOVÝ SENZOR [EDUXE, 2010]	14
OBRÁZEK 6 – ULTRAZVUKOVÝ SENZOR [EDUXE, 2010]	15
OBRÁZEK 7 – SERVOMOTOR [EDUXE, 2010].....	15
OBRÁZEK 8 – BATERIE [EDUXE, 2010].....	15
OBRÁZEK 9 – SMĚR POHYBU ROBOTA.....	17
OBRÁZEK 10 – PRINCIP SLEDOVÁNÍ DRÁHY	18
OBRÁZEK 11 – SEKVENCE BLOKŮ PRO POHYB HLEDÁNÍ.....	20
OBRÁZEK 12 – SCHÉMA ROZDĚLOVAČE	21
OBRÁZEK 13 – CYKLUS SLEDOVACÍ SMYČKY	22
OBRÁZEK 14 – FINÁLNÍ VERZE PROGRAMU V PROSTŘEDÍ LEGO MINDSTORMS	23
OBRÁZEK 15 – PRINCIP TŘÍDĚNÍ MÍČKŮ	24
OBRÁZEK 16 – ROZDĚLENÍ MÍČKŮ DO ZÁSOBNÍKŮ DLE BARVY	25
OBRÁZEK 17 – POLOHA JÍMAČE A ZÁSOBNÍKU	25
OBRÁZEK 18 – PROGRAM ROZDĚLOVAČ	27
OBRÁZEK 19 – NASTAVENÍ SWITCHE HLEDAJÍCÍHO ŽLUTOU BARVU	29
OBRÁZEK 20 – VNITŘNÍ NASTAVENÍ POHYBU RAMENE	30
OBRÁZEK 21 – BLOKY PRO DETEKCI PŘEDMĚTU A POHYB.....	34
OBRÁZEK 22 – KOMPLETNÍ PROGRAM ÚLOHY 1.....	34
OBRÁZEK 23 – ZÁKLAD PROGRAMU ÚLOHY Č.2	36
OBRÁZEK 24 – KOMPLETNÍ PROGRAM ÚLOHY Č.2	37
OBRÁZEK 25 – ZÁKLAD PROGRAMU ÚLOHY Č.3	40
OBRÁZEK 26 – KOMPLETNÍ PROGRAM ÚLOHY Č.4	43

